

УДК 624. 012:53.09

И.А. Плахотникова

*Харьковский национальный университет строительства и архитектуры, Харьков***МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ФУНДАМЕНТОВ ТЕПЛОВЫХ АГРЕГАТОВ В СООТВЕТСТВИИ С ДЕЙСТВУЮЩИМИ НОРМАМИ**

В новых нормах по железобетонным конструкциям ДБН В.2.6-98:2009 предъявляются особые требования к расчету железобетонных фундаментов. В п. 5.1.2 указывается, что если взаимодействие «основание-сооружение» существенно влияет на характер распределения усилий в сооружении, то необходимо выполнять расчет как единой геометрически и физически нелинейной системы - «основание-фундаменты-сооружение».

Ключевые слова: новые нормы, расчет, основание-сооружение, железобетонные фундаменты, распределение усилий.

Постановка проблемы

Фундаменты тепловых агрегатов печей, газодов, дымовых труб в процессе эксплуатации испытывают воздействия технологических температур.

Прогреваясь, фундаменты передают тепло и окружающим их грунтам. Под воздействием повышенных температур в грунтах происходит изменение физико-механических свойств, усадка и ползучесть. Это приводит к изменению жесткости основания, нарушению контакта системы фундамент – грунт. Происходит искривление фундамента, его выгиб и коробление, что может привести к нарушению технологического процесса, потребовать усиления отдельных элементов, затрат материалов и времени.

Проведенные натурные исследования показывают, что бетон фундаментов имеет достаточную прочность и однородность. Разрушение фундамента вызвано не локальным ослаблением сечений за счет низкой прочности бетона, а значительными деформациями грунтового основания.

В рассматриваемом случае взаимодействие «основание-сооружение» существенно влияет на характер распределения усилий в сооружении, поэтому в соответствии с ДБН В.2.6-98:2009 [1] необходимо выполнять расчет как единой геометрически и физически нелинейной системы - «основание-фундаменты-сооружение».

При постановке рассматриваемой проблемы изучена работа фундаментов коксовых батарей.

Анализ последних исследований и публикаций

При аналитическом обзоре литературных источников обнаружены ограниченные данные об изменчивости характеристик грунта под воздействием температур, отсутствие методик расчета фундаментов с учетом этих характеристик.

Е.А. Сорочаном и Е.М. Рыжковым [2] проведено исследование динамики развития крена дымовых труб, изучен режим влажности глинистых грунтов основания и его изменение при многолетнем нагревании от поземных частей сооружений. На этой основе предложен новый способ выправления крена путем создания равномерного нагрева основания с помощью устройства дополнительного полукольцевого газохода вокруг дымовой трубы.

Известны случаи отрицательного влияния температур и в зарубежной практике. Так, К. Сечи [3] показал характерный пример влияния нагрева на наклон заводской трубы стекольного завода.

Расчету железобетонных конструкций численными методами с учетом трещинообразования и физической нелинейности бетона и арматуры посвящены работы Вихарда[4], Дрюкер[5-6], А.С. Городецкого[7]; при повышенных и высоких температурах - А.П. Кричевского [8], А.Ф. Милованова[9], С.Л. Фомина [10] и др.

Недостаточная изученность поведения этих конструкций требует совершенствования теоретической и экспериментальной научной базы, гарантирующей требуемый уровень безопасности длительной эксплуатации фундаментов тепловых агрегатов.

Целью данной статьи есть описание методики расчета железобетонных фундаментов с использованием компьютерных технологий, позволяющая учитывать физическую нелинейность железобетона и грунтов основания.

Описание основного материала

Фундамент коксовой батареи представляет собой железобетонное пространственное сооружение, состоящее из нижней фундаментной плиты, поперечных железобетонных рам, объединенных в температурные блоки и отделенных друг от друга температурными швами и верхней фундаментной плиты.

Вдоль фундаментов размещены борова для отвода продуктов горения, температура которых составляет 350 °С.

На рис.1 показан разрез коксовой батареи и рамного железобетонного фундамента с боковыми и центральными боровами для отвода продуктов горения.

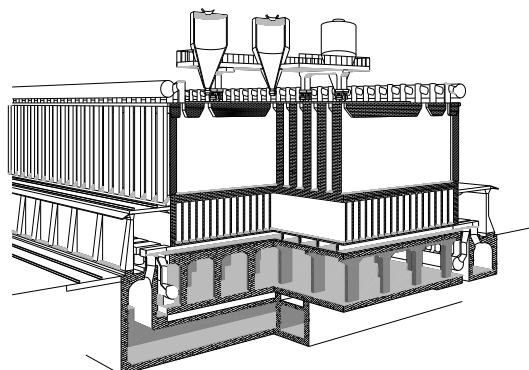


Рис.1.Разрез коксовой батареи с фундаментом

Температурные блоки содержат по 4-6 поперечных рам, состоящих из крайних колонн поперечным сечением 500х300 мм и средних центральных колонн – размерами 800х300 мм.

На рис. 2. приведена конструкция температурного блока фундамента коксовой батареи.

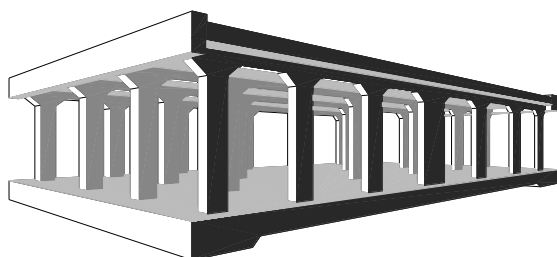


Рис. 2. Температурный блок фундамента коксовой батареи.

Ригель и плита выполняются монолитными. Ригели имеют вуты и консоли по краям рам, которые поддерживают бортовую балку, предназначенную для опирания металлических конструкций анкера вышележащей кладки.

На рамную конструкцию фундамента действует статическая нагрузка от огнеупорной кладки печей и оборудования, горизонтальные нагрузки в уровне верха рам от механизмов коксовыталкивателя и двересъемных машин, температурные воздействия на верхнюю плиту и ригели рам, а также неравномерный нагрев основания, который для глинистых грунтов приводит к неравномерной усадке. В результате происходит искривление земной поверхности под нижней фундаментной плитой, перераспределение контактных давлений, возникновение аварийного состояния конструкций.

Проведено численное моделирование напряженно-деформированного состояния системы фундамент – основание. Разработана методика решения объемной задачи в линейной постановке и объемной задачи с учетом физической нелинейности материалов и основания.

Численные исследования проводились с использованием программного комплекса Лира Windows. Для моделирования выбран пространственный блок рамного фундамента, вырезанный в продольном направлении по осям рам и в поперечном направлении между осью, проходящей через центр рамы и гранью нижней фундаментной плиты, что обусловлено симметрией плоской поперечной рамы фундамента, статической нагрузки и температурных воздействий. Модель содержит также грунтовое основание от центра рамы в поперечном направлении и глубиной 8500 мм от дневной поверхности.

Линейный расчет проведен с использованием для всех частей объемной модели фундамента универсальных пространственных восьмиузловых изопараметрических конечных элементов КЭ36 размером 50х50х l_y мм (l_y – размер элемента в направлении оси y для двух крайних полуколонн принимается равным 150 мм, для трех КЭ плиты – равным $l_y=740$ мм).

Для грунтового массива часть элементов КЭ36, расположенных под плитой толщиной 500 мм, принята размером 50х50х l_y мм, остальной массив сложен из КЭ36 размером 1000х1000х l_y мм, переходная зона грунтового массива от сетки с ячейкой 50х50 мм до сетки с ячейкой 1000х1000 мм выполнена из элементов КЭ34 (универсальных пространственных шестиузловых изопараметрических). Геометрическая модель из объемных элементов показана на рис. 3.

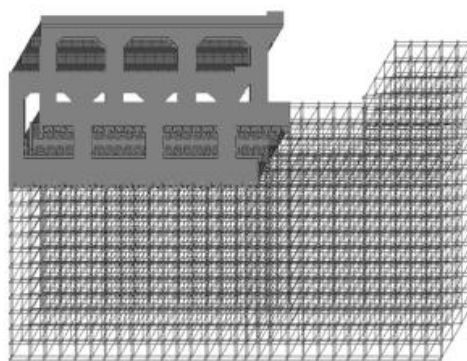


Рис. 3. Конечно-элементная схема модели фрагмента фундамента коксовых батарей.

Расчетная модель состоит из 34808 конечных элементов и включает 45669 узлов.

Расчеты проведены также по нелинейной деформационной модели с применением расчетных диаграмм деформирования бетона и арматуры при нагреве.

Для всех частей объемной модели фундамента приняты физически нелинейные универсальные пространственные восьмиузловые изопараметрические конечные элементы КЭ236 размером $50 \times 50 \times l_y$ мм (l_y – размер элемента в направлении оси y для двух крайних полуколонн принимается равным 150 мм, для трех КЭ плиты – равным $l_y = 740$ мм).

Для грунтового массива часть элементов КЭ236, расположенных под плитой толщиной 500 мм, принята размером $50 \times 50 \times l_y$ мм, остальной массив сложен из КЭ236 размером $1000 \times 1000 \times l_y$ мм, переходная зона грунтового массива от сетки с ячейкой 50×50 мм до сетки с ячейкой 1000×1000 мм выполнена из элементов КЭ234 (физически нелинейных универсальных пространственных шестиузловых изопараметрических).

Моделирование нелинейных нагрузжений осуществлялось путем задания метода расчета (1) – простой шаговый, минимальное число итераций – 300, количество равномерных шагов – 20, с выводом на печать перемещений и усилий после каждого шага. Результаты расчета иллюстрируются анимационными картинками разрушений.

Результаты расчета в линейной постановке выявили влияние температурно-усадочных деформаций грунта на напряженно-деформированное состояние рамного фундамента коксовых батарей. Результаты нелинейного расчета показали последовательность образования разрушений (растяжение, сжатие, полного разрушения элемента, разрушения при растяжении и сжатии), которые также соответствуют разрушениям в натуре (рис. 4).

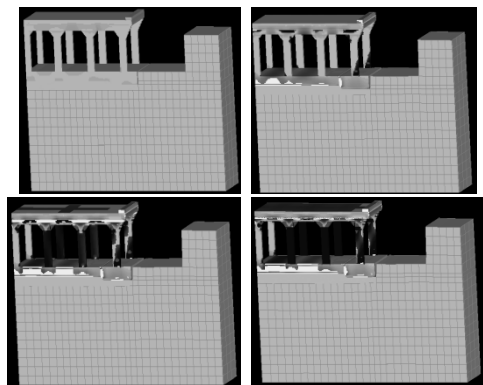


Рис. 4 Анимационная картина разрушения для различных шагов нелинейного расчета.

Выводы

Разработанная методика оценки напряженно-деформированного состояния фундаментов тепловых агрегатов при воздействии температуры на грунты основания позволяет учитывать изменчивость прочностных и деформационных характеристик основания при проектировании, строительстве и реконструкции.

Литература

1. ДБН В.2.6-98:2009 Конструкції будинків та споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. Київ. Мінрегіонбуд України. 2011. -с 71.
2. Сорочан Е.А. Выправление крена дымовых труб путем организованной усадки грунтового основания [Текст] / Е.А. Сорочан, Е.М. Рыжков // Основания, фундаменты и механика грунтов. -1979. -№ 1. -С.16-19.
3. Сечи К. Ошибки в сооружении фундаментов [Текст] / Сечи К. // М.: Госстройиздат. 1960. -141 с.
4. Witghart K., Mitt. Forschungsarb. Ver. deut. Ing., № 49, 1908.
5. Drucker D. C. Soil mechanics and plastic analysis or limit design. Quarterly Applied Mathematics [Текст] / D. C. Drucker, W. Prager // 1952. – № 2. –Р. 157–165.
6. Drucker D. C. Soil mechanics and work-hardening theories of plasticity [Текст] / D. C. Drucker, R. E. Gibson, D. S. Henkel // Trans. of the Amer. Soc. of Civil Eng. – 1956 – № 121. – Р. 338–346.
7. Городецкий А.С. Компьютерные модели конструкций / Городецкий А.С. Евзеров И.Д. // К.: ФАКТ, 2005. -344 с.
8. Кричевский А.П. Расчет железобетонных инженерных сооружений на температурные воздействия [Текст] / Кричевский А. П. // М.: Стройиздат, 1984. – 148 с.
9. Милованов А.Ф. Огнестойкость железобетонных конструкций [Текст] / Милованов А.Ф. // М.: Стройиздат, 1996. – 224 с., ил.
10. Фомин С.Л. Полная диаграмма “ σ - ϵ ” бетона и арматуры при нагреве [Текст] / Фомин С.Л. // Коммунальное хозяйство городов. - Вып. 8. -К.: Техніка, 1997. -С.27-29.

References

1. DBN V.2.6-98:2009 Konstrukcii budinkiv ta sporud. Betonni ta zalizobetonni konstrukcii. Osnovni polozhennja [Construction of buildings and structures. Concrete and reinforced concrete structures. The main provisions] Kiiv: Minregionbud Ukraini, 2011, 71 p.
2. Sorochan E.A., E.M. Ryzhkov. Vypravlenie krena dymovyh trub putem organizovanoj usadki gruntovogo osnovaniya. [Straightening roll chimneys organized by shrinkage subgrade] Osnovaniya, fundamenti i mehanika gruntov. Moscow, 1979, № 1. pp.16-19.
3. Sechi K. Oshibki v sooruzhenii fundamentov [Errors in the construction of foundations] Moscow: Gosstrojizdat, 1960, 141 p.
4. Witghart K., Mitt. Forschungsarb. Ver. deut. Ing., № 49, 1908.
5. Drucker D. C. Soil mechanics and plastic analysis or limit design. Quarterly Applied Mathematics W. Prager 1952. № 2. P. 157–165.
6. Drucker D. C., R. E. Gibson, D. S. Henkel. Soil mechanics and work-hardening theories of plasticity Trans. of the Amer. Soc. of Civil Eng. 1956, № 121. pp. 338–346. [in English].
7. Gorodeckij A.S., Evzerov I.D. Komp'yuternye modeli konstrukcij. [Computer models of structures] Kiiv: FAKT, 2005, 344 p.
8. Krichevskij A.P. Raschet zhelezobetonnyh inzhenernyh sooruzhenij na temperaturnye vozdejstviya [Calculation of reinforced concrete engineering structures on temperature effects] Moscow: Strojizdat, 1984, 148 p.

9.Milovanov A.F. Ognestojkost' zhelezobetonnyh konstrukcij [Fire resistance of concrete structures] Moscow: Strojizdat, 1996, 224 p.

10.Fomin S.L. Polnaja diagramma σ - ε betona i armatury pri nagreve. [The complete diagram σ - ε concrete and reinforcement by heating] Kommunal'noe hozjajstvo gorodov. №8. Kharkov: Tehnika, 1997, pp.27-29.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.Л. Фомин, Харьковский национальный университет строительства и архитектуры, Харьков.

Автор: ПЛАХОТНИКОВА Ирина Анатольевна Харьковский национальный университет строительства и архитектуры, Харьков, кандидат технических наук, доцент.
E-mail – ira5657@gmail.com

МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ФУНДАМЕНТІВ ТЕПЛОВИХ АГРЕГАТІВ У ВІДПОВІДНОСТІ ДО ДІЮЧИХ НОРМАМ

І.А. Плахотнікова

У нових нормах по залізобетонним конструкціям ДБН В.2.6-98: 2009 пред'являються особливі вимоги до розрахунку залізобетонних фундаментів. У п. 5.1.2 вказується, що якщо взаємодія «основа-споруда» суттєво впливає на характер розподілу зусиль в споруді, то необхідно виконувати розрахунок як єдиної геометрично і фізично нелінійної системи - «основа-фундаменти-споруда».

Ключові слова: нові норми, розрахунок, підстава-споруда, залізобетонні фундаменти, розподіл зусиль.

CALCULATION CONCRETE BASES OF THERMAL UNITS IN ACCORDANCE WITH APPLICABLE REGULATIONS

I. Plakhotnikova

Foundations of thermal units furnaces, flues, chimneys during the operation to be affected by technological temperatures.

Warm, foundations and transfer heat to the surrounding soils. Under the influence of elevated temperatures in the ground there is a change of physico-mechanical properties, shrinkage and creep. This leads to a change in hardness of a base contact failure foundation system - primer. Are curved foundation flexure and its buckling, which may cause disturbance of the technological process, require separate amplification elements, materials costs and time.

Conducted field studies show that the concrete foundation has sufficient strength and uniformity. The destruction of the foundation is not due to the weakening of local cross sections due to the low concrete strength, and significant deformation of subgrade.

In this case the interaction of "base-building" significantly affects the nature of the distribution of effort in the construction, so in accordance with DBN V.2.6-98: 2009, it is necessary to perform the calculation as a single geometrically and physically nonlinear system - "base-foundation-structure".

At statement of the problem studied the work of foundations coke batteries.

Numerical simulation of stress-strain state of the foundation - grounds. The technique of solution volume problem in linear and volumetric problem with the physical nonlinearity of materials and foundation.

Keywords: new rules, calculation, base-building, reinforced concrete foundations, distribution efforts.